

Évaluation du Procédé Géotechnique – EPG

Nom du procédé	Pieu foré tarière creuse injecté au tube plongeur T³BOTTE Pieux forés à la tarière creuse continue équipée d'un tube plongeur télescopique, à contrainte de béton améliorée
Demandeur	BOTTE FONDATIONS ZAC du Petit Leroy – 5 rue Ernest Flammarion 94550 Chevilly-Larue

L'évaluation du procédé géotechnique T³BOTTE a été approuvée de manière consensuelle par les membres de la commission technique EPG dont la composition est précisée dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques.

Les conclusions sont détaillées en page 2.

L'évaluation repose sur :

- l'engagement que la mise en œuvre du procédé T³BOTTE n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique T³BOTTE dans le cadre d'une mission réalisée par les deux instructeurs missionnés de la commission EPG. Les conclusions de cette mission sont consignées dans un rapport d'analyse qui est présenté en annexe ;
- la jurisprudence, au moment de l'évaluation, de la famille à laquelle le procédé géotechnique est rattaché ;
- l'approbation consensuelle par les membres de la commission CT-EPG en date du 09/08/2024, du cahier des charges et des conclusions du rapport.

Avis de la commission technique EPG

Sous réserve d'appliquer les recommandations ci-dessous, la commission technique EPG :

- estime que : le procédé géotechnique T³BOTTE mis en œuvre par la société BOTTE FONDATIONS et décrit par le cahier des charges du procédé géotechnique version F du 24/07/2024 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requis par le référentiel retenu ;
- donne un avis favorable à la prolongation de l'évaluation du procédé.

La présente évaluation est établie jusqu'au 21/08/2027.

Le 21/08/2024.

Le Président de la commission technique
EPG



Loïc LEURENT - CEREMA

Le Vice - Président de la commission
technique EPG



Fabien SZYMKEIWICZ - UGE

**EPG :
Commission d'Évaluations
des Procédés Géotechniques**



Présentation du procédé

Le procédé T³BOTTE fait partie de la famille des pieux forés injectés au tube plongeur.

Il est développé par BOTTE FONDATIONS à partir d'une tarière continue à axe creux modifiée et améliorée. Les spécificités du procédé par rapport à la technique de pieux à la tarière creuse (classe 2) telle que définies §A3.1 de la norme NF P94-262/A1 sont les suivantes :

- Le bétonnage est réalisé au moyen d'un tube plongeur télescopable d'une longueur minimale de 80 cm, assurant une injection du béton sous faible pression, au tube plongeur. La base du tube plongeur reste constamment immergée dans le béton ouvrable qui vient d'être mis en place. Ce tube télescopable est actionné gravitairement et sous l'effet de la pression du béton.
- Durant tout le bétonnage et la remontée de l'outil, l'ouverture complète du télescope est contrôlée et enregistrée au moyen d'un dispositif spécifique ;
- A l'issue du bétonnage, la sortie adaptée du télescope durant toute l'opération de bétonnage est contrôlée par l'opérateur, permettant le cas échéant de prévoir des actions correctrices en cas de non-respect des conditions de bétonnage au tube plongeur.
- Les paramètres de forage et bétonnage sont visualisés en continu par le foreur, permettant le cas échéant d'adapter la méthodologie de forage aux terrains rencontrés.
- Des procédures internes et contrôles intérieurs complémentaires à la réglementation en vigueur sont également prévus au plan d'assurance qualité de l'entreprise détaillé en annexe du présent avis §4.

Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique T³BOTTE

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé comprend :

- [1]. Les Eurocodes
- [2]. La norme NF P94-262 Fondations profondes,
- [3]. La norme NF EN 1536,
- [4]. Le fascicule 68 : Cahier des Clauses Techniques Générales - Travaux de Génie Civil / Exécution des Travaux Géotechniques des ouvrages de Génie Civil,
- [5]. La norme NF DTU 13.2. Fondations Profondes,
- [6]. La norme NF EN 206/CN Béton - Spécification, performance, production et conformité,
- [7]. Le Cahier technique n° 38 de l'AFPS.

Les référentiels pour l'évaluation des procédés géotechniques¹ :

- [8]. Le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG.
- [9]. Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG version 13/06/24.
- [10]. Guide pour la réalisation des cahiers des charges soumis à une EPG, version 1 de février 2019).

Domaine d'emploi

Le domaine d'application concerne les pieux porteurs ou de soutènement, de tous types d'ouvrages (bâtiments, ouvrages d'art, tours, mâts, cheminées et silos) en situation de calcul sismique ou non, aussi bien public que privé.

Le procédé peut être employé dans tous types de terrains dans lesquels les conditions adaptées de fonçage et bétonnage avec les moyens dédiés ont été démontrées, si nécessaire par un essai de faisabilité en début de chantier.

Recommandations spécifiques au procédé

1. Note à l'intention du maître d'œuvre et des contrôleurs

¹ | <https://piles.cerema.fr/demarche-pour-une-evaluation-membres-de-la-a2047.html>

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Le recours à un procédé de type T³BOTTE est généralement à considérer sur les projets de pieux comme une adaptation technique à la solution de pieux retenue par le marché.

Il convient alors de s'assurer que la synthèse géotechnique prévue en phase conception, mission G2 au sens de la NF P94-500 (ou similaire), est adaptée à ce procédé.

L'emploi de ce procédé est soumis à l'appréciation du maître d'ouvrage sur conseils de son maître d'œuvre, et généralement du géotechnicien qui ne dépend pas du maître d'œuvre et du bureau de contrôle. Ce conseil intervient idéalement lors de la phase Assistance pour la passation des Contrats de Travaux (phase ACT).

2. Exécution

La réalisation des pieux T³BOTTE suit les recommandations de la norme d'exécution des pieux refoulants NF EN 1536. Des compléments sont indiqués dans le cahier des charges.

3. Cas d'utilisation en conditions de sols sensibles :

Dans le cas de conditions de sols sensibles l'essai de faisabilité en début de chantier est obligatoire. Sont classés comme sensibles, les sols suivants :

- terrains très mous $C_u < 15$ kPa, ou
- sables très lâches (voir définition tableau B.2.1 de la norme NF P 94-262), ou
- limons et argiles, très mous, de résistance en pointe $q_c < 0.6$ MPa ou pression limite net < 0.25 MPa,
- conditions de site avec nappe artésienne,

4. Cas d'utilisation pour des ponts.

Dans le cas où l'annexe Q de la norme NF P 94- 262 (concernant les ponts) est rendue obligatoire par le marché, elle reste la référence pour l'ensemble de ses clauses avec une dérogation possible pour le taux de travail du béton (à valider par le Maître d'œuvre en fonction du projet).

Instructeurs du dossier :

L'instruction de cette EPG a été suivie par :

- Fabien Szymkiewicz (Université Gustave Eiffel – Membre de la CT- EPG) : Rapporteur /Instructeur
- Gael Gourrin (SOCOTEC – Membre de la CT- EPG) : Instructeur

Ces instructeurs ont été désignés par la commission EPG.

Conditions particulières

Botte Fondations devra informer la commission EPG de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « T³BOTTE » et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Annexe 1 – Rapport d'analyse du procédé

1. Documents produits par le demandeur Entreprise Botte Fondations :

Les documents examinés dans le cadre de la mission confiée à l'Université Gustave Eiffel et au Cerema sont les suivants :

- le cahier des charges du procédé géotechnique T³BOTTE version F du 24 juillet 2024,
- les PV d'essais et la synthèse des divers essais (essais de résistance du béton, extraction de pieux, essais d'intégrité par impédance et sonique) réalisés sur 5 sites ;
- l'avis des experts mandatés par BOTTE FONDATIONS :
 - o Note GINGER – affaire LGEN-N-0422 du 23/10/2023
- La synthèse des chantiers réalisés depuis 2021,
- Les attestations d'assurances et de travaux.

Les attestations d'assurance concluent sur l'absence de sinistre.

2. Présentation du procédé :

Le procédé T³BOTTE fait partie de la famille des pieux forés injectés au tube plongeur.

Il est développé par BOTTE FONDATIONS à partir d'une tarière continue à axe creux modifiée et améliorée. Les spécificités du procédé par rapport à la technique de pieux à la tarière creuse (classe 2) telle que définies §A3.1 de la norme NF P94-262/A1 sont les suivantes :

- Le bétonnage est réalisé au moyen d'un tube plongeur télescopable d'une longueur minimale de 80 cm, assurant une injection du béton sous faible pression, au tube plongeur. La base du tube plongeur reste constamment immergée dans le béton ouvrable qui vient d'être mis en place. Ce tube télescopable est actionné gravitairement et sous l'effet de la pression du béton.
- Durant tout le bétonnage et la remontée de l'outil, l'ouverture complète du télescope est contrôlée et enregistrée au moyen d'un dispositif spécifique ;
- A l'issue du bétonnage, la sortie adaptée du télescope durant toute l'opération de bétonnage est contrôlée par l'opérateur, permettant le cas échéant de prévoir des actions correctrices en cas de non-respect des conditions de bétonnage au tube plongeur.
- Les paramètres de forage et bétonnage sont visualisés en continu par le foreur, permettant le cas échéant d'adapter la méthodologie de forage aux terrains rencontrés.
- Des procédures internes et contrôles intérieurs complémentaires à la réglementation en vigueur sont également prévus au plan d'assurance qualité de l'entreprise détaillé en annexe du présent avis §4.

3. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique T³BOTTE

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé comprend :

- Les Eurocodes,
- la norme NF P 94-262 Fondations profondes,
- la norme européenne d'exécution NF EN 1536 ;
- Cahier Technique 38- Avril 2017 - Guide pour la conception et le dimensionnement des fondations profondes sous actions sismiques des bâtiments à risque normal – AFPS ;
- Fascicule 68 : Cahier des Clauses Techniques Générales - Travaux de génie Civil / Exécution des travaux Géotechniques des ouvrages de Génie Civil,
- NF DTU 13.2. Fondations Profondes,
- NF EN 206/CN Béton - Spécification, performance, production et conformité,
- le Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG, version du 13/06/24.
- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version 1 en date du 27/02/2019),
- le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG.

4. Spécificités du procédé T³BOTTE :

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Le procédé T³BOTTE déroge à la norme de justification des fondations profondes NF P 94-262, pour le calcul de la résistance du béton (voir § 5 ci-après).

Cette dérogation s'accompagne de l'adoption d'un certain nombre de règles internes et de contrôles complémentaires (voir notamment § 6 ci-après).

5. Résistance du béton :

Trois paramètres du calcul sont modifiés :

- $C_{\max} = 40$ MPa,
- $k_1 = 1,05$, et
- $k_2 = 1,0$.

Ces valeurs sont justifiées par :

- le système qualité interne mis en place par l'entreprise, avec notamment la réalisation systématique de contrôle d'intégrité des pieux dans les sols dits « sensibles » (voir § 3 ci-dessous),
- et 5 campagnes d'essais pour différentes conditions de sols et nappes regroupant :
 - o la réalisation de 148 essais d'intégrité (116 essais d'impédance et 32 essais soniques) réalisés sur des pieux sous procédé **T³BOTTE**
 - o le carottage toute hauteur de 14 pieux de diamètre, réalisés dans diverses natures de sol, sous nappe et hors nappe.
 - o Des essais sur béton durci sur plus de 150 carottes prélevées in situ sur des pieux **T³BOTTE, comparés à des essais sur éprouvettes témoins,**

Les résultats des essais montrent :

- une absence de défaut de bétonnage ou singularité pour les différents pieux testés par les différentes méthodes d'essais d'intégrité et/ou par carottage,
- une interface pieu/sol relativement régulière, exempte de défauts manifestes et inclusions,
- des diamètres de pieux déterrés systématiquement identiques ou légèrement supérieurs aux diamètres théoriques des pieux,
- une comparaison statistique selon la norme NF EN 13791/CN entre les valeurs de résistance à la compression R_c sur carottes de béton et les valeurs de résistance R_c des bétons livrés, démontrant l'obtention d'un facteur de réduction de la résistance intrinsèque $k_1.k_2$ inférieur à 1,05.
- une augmentation graduelle de la résistance intrinsèque des pieux, avec l'augmentation du béton livré,
- une absence d'effets notables sur le coefficient de réduction $k_1.k_2$, avec l'augmentation des classes de résistance de bétons testés comprises entre C30/37 à C40/50.

6. Système qualité interne spécifique au procédé T³BOTTE

Pour garantir l'obtention de ces performances améliorées sur les différents chantiers réalisés sous procédé T³BOTTE, BOTTE FONDATIONS a étoffé son système de qualité interne avec notamment :

- la désignation d'un référent béton au sein de son service,
- le recours à des bétons présentant des classes de consistance et de maintien rhéologique encadrés,
- la réalisation systématique et journalière d'essais de contrôle de rhéologie et d'essais visuels de ressuage sur béton frais complémentaires aux recommandations en vigueur,
- la capitalisation de leurs résultats sur les essais de maintien de stabilité des bétons frais,
- la réalisation systématique d'un pieu de convenance au démarrage de ses projets, validant notamment la méthodologie de forage et de bétonnage qui sera employée sur le projet.

Dispositions spécifiques au forage :

L'adéquation de la méthodologie de forage des terrains est avantageusement obtenue par l'utilisation de matériel de forage disposant systématiquement d'un dispositif de vélinage de la tarière lors du forage (« pull down »). Ce dispositif offre ainsi la liberté au foreur d'adapter sa vitesse de rotation, son couple de rotation et sa force d'appui pour obtenir une pénétration suffisante des outils tout en minimisant la remontée de matériaux durant toute l'opération de forage.

Dispositions spécifiques au bétonnage :

Sur chantier, le respect des conditions de bétonnage au tube plongeur, pour chaque pieu, est contrôlé et enregistré par un matériel spécifique interne. Les points de contrôles minimaux sont :

- une ouverture du télescope et un bétonnage du pieu sous faible pression au plus tard après une remontée maximale de 25 cm de la tarière. Cette condition réduit le risque d'instabilités des parois et favorise l'effet de chasse assurant ainsi la remontée des éventuelles impuretés présentes en fond de forage,
- puis un déploiement progressif du télescope au début du bétonnage, de façon à obtenir, après une remontée de la tarière de 80 cm et ensuite durant tout le reste de l'opération de bétonnage, un niveau de base du tube plongeur situé systématiquement 80 cm sous le niveau du béton frais. Cette disposition assure ainsi la remontée du premier béton et des éventuelles impuretés jusqu'à la tête des pieux pour évacuation et arasement.

En cas de non-respect de l'une de ces deux conditions, le contrôle et l'enregistrement de la course du télescope permet automatiquement de mettre en place des actions correctrices comme le reforage du pieu ou la justification du pieu pour une condition de bétonnage classique à la tarière creuse de classe 2.

Cas des conditions de bétonnage sensibles :

En complément, BOTTE FONDATIONS s'astreint à la réalisation d'un nombre minimal d'essais d'intégrité de pieux, dans les sols ou conditions de sols dits sensibles pour le bétonnage des pieux selon la technique **T³BOTTE**.

Ces essais sont réalisés systématiquement sur 10 % des pieux (avec un minimum de 5 pieux) en cas de :

- traversée sur des épaisseurs significatives (> 2.0 mètres), des sols suivants :
 - o sables très lâches (voir définition tableau B.2.1 de la norme NF P 94-262), ou
 - o limons et argiles, très mous, de résistance en pointe $q_c < 0.6$ MPa ou pression limite nette < 0.25 MPa.
- risque établi de nappe faiblement artésienne au moment de la réalisation des pieux.

4. Utilisation pour les ponts d'ouvrage d'art

Le procédé T³BOTTE répond aux exigences de la section 3.5.2.5 du fascicule 68 du CCTG relatif à l'emploi des tarières creuses pour les ponts d'ouvrage d'art.

Pour ces ouvrages à défaut de dispositions spécifiques indiquées au marché, l'annexe Q de la norme NF P 94-262 s'applique. Une valeur de C_{max} supérieure à 25 MPa et limitée à 30 MPa, peut toutefois être retenue en cas d'utilisation de béton de caractéristiques appropriées. Cette valeur doit être validée par le maître d'œuvre en charge de la conception après analyse des éventuels effets sur la souplesse des appuis.

En cas de dérogation, il est conseillé d'effectuer un suivi de maintien de stabilité du béton lors de la mise en œuvre suivant les normes cf XP P 18-468 et XP P 18-475.

Sauf prescriptions différentes, ces dispositions ne permettent pas de déroger au § Q.3.4.1.1 de la norme NF P94-262 relatif au diamètre minimaux des pieux exécutés en place.